

Moje drogi do serca

Zbigniew Nawrat

Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze

Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska 2005; 2 (4): 90–92



Jestem fizykiem. Miałem zaszczyt od początku być w zespole prof. Zbigniewa Religi. Pacjenci oczekujący na przeszczep serca i wielu innych, którzy wymagali przez pewien czas (od dnia do kilku miesięcy) wspomaganie układu krążenia, potrzebowali pompy krwi (sztucznego serca). Skutecznej, bezpiecznej i... polskiej. W owym czasie nie było nas stać na zakupienie urządzeń amerykańskich. Zresztą dzisiaj jest podobnie.

W Katedrze Kardiochirurgii Śląskiej Akademii Medycznej profesor utworzył 2-osobową Pracownię Sztucznego Serca. Razem z Romanem Kustoszem często byliśmy przez

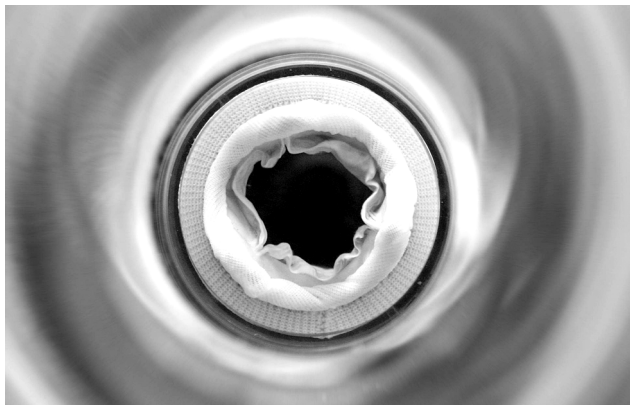
niego mobilizowani w prosty sposób: wzbudzał w nas poczucie odpowiedzialności za losy pacjentów, dla których jedynym ratunkiem było opracowywane przez nas sztuczne serce. Nie *uprawialiśmy nauki*, lecz naukowymi metodami projektowaliśmy potrzebne urządzenie. Prace postępowały dwutorowo: z jednej strony zespół medyczny i techniczny rozwijał się, stosując na ratunek sztuczne serce z Moskwy i Brna (w owym czasie był to jeden z najlepszych ośrodków na świecie; dzisiaj już nie istnieje), z drugiej zaś tworzyliśmy zespół specjalistów, konstruując oryginalne polskie serce. Był to okres pionierski na całym świecie. Pierwszy raz sztuczne serce Jarvika z sukcesem zastosowano jako pomost do transplantacji dopiero w 1985 r. W tym roku prof. Religa przeprowadził pierwszą transplantację serca w Zabrzu, a już 2 lata później rozpoczął historię sztucznego serca w Polsce. Aby skonstruować urządzenie tak zaawansowane technicznie, należało krok po kroku realizować założony plan, obejmujący badania anatomiczne, prace projektowe, badania laboratoryjne, badania na zwierzętach oraz pierwsze eksperymenty kliniczne. Po określeniu cech geometrycznych (dopasowanie anatomiczne do przeciętnego dorosłego człowieka) i objętości wyrzutowej (80 ml) należało odpowiedzieć na mnóstwo pytań dotyczących przepływu wewnątrz komory, optymalizacji budowy i sterowania sztucznym sercem.

Powstało wiele urządzeń, stanowisk badawczych, zastosowaliśmy także nieznane wcześniej w kraju metody eksperymentalne. Dzięki wizualizacji laserowej, np. mogliśmy optymalizować konstrukcję sztucznej komory serca. Na początku lat 90. pokazywałem swój oryginalny projekt, niesymetryczny kształt komory POLVAD, Robertowi Jarvikowi, a Wiliam Kolff przesał nam swoje najnowsze komory do przetestowania na zwierzętach (ze wstydem musiałem się potem tłumaczyć, dlaczego ich nie przeprowadziliśmy – oczywiście, szkoda nam było tych skromnych funduszy, którymi dysponowaliśmy). Od 1993 r. komory POLVAD dają szansę pacjentom i ich lekarzom (ryc. 1). Były zastosowane



Ryc. 1. Komory wspomaganie krążenia POLVAD

Adres do korespondencji: Zbigniew Nawrat, Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze, tel. +48 323 73 56 00, e-mail: nawrat@frk.pl



Ryc. 2. Prototypowa zastawka biologiczna POLBIO (modyfikowany chemicznie materiał więprzowy)

ponad 160 razy, umożliwiając leczenie niewydolnego hemodynamicznie serca lub pozwalając pacjentowi na doczekanie do transplantacji. Obecnie przygotowywane są nowe sterowniki sztucznego serca oraz w pełni implantowane komory wspomaganie serca nowej generacji.

Równolegle prowadzone są prace nad protezami zastawek serca (ryc. 2.). Na początku Jolanta Wszotek, obecnie kierownik Pracowni Zastawki Biologicznej Serca w Instytucie Protez Serca Fundacji Rozwoju Kardiologii, zeszła do mojego laboratorium i powiedziała: *Jesteś fizykiem, więc pewnie będziesz wiedział, jak zaprojektować stent zastawki.* Po kilku miesiącach testowaliśmy pierwszą uszytą przez nią zastawkę w testerze zrobionym za pół litra szpitalnego spirytusu. Sytuacja finansowa służby zdrowia na przełomie lat 80. i 90. była fatalna. Fundusze bezpośrednio potrzebne klinice miała zbierać nowo powstała Fundacja Rozwoju Kardiologii (FRK). Ogromne wsparcie społeczne tej inicjatywy i otrzymane fundusze umożliwiły utworzenie profesjonalnego ośrodka badawczo-wdrożeniowego. Dzisiaj w czterech pracowniach (Zastawki Serca, Sztucznego Serca, Biotechnologii i Biocybernetyki) Instytutu Protez Serca pracuje kilkadziesiąt osób, realizując wiele projektów z pogranicza biologii, techniki i medycyny – od sztucznych narządów po nowoczesne narzędzia chirurga.

W celu rzetelnego wykonania oryginalnych protez serca zbudowaliśmy unikatowe laboratoria, zdobyliśmy doświadczenie, które następnie wykorzystaliśmy w nowych projektach. Zgodnie z procedurą obowiązującą obecnie w Instytucie Protez Serca, po stworzeniu trójwymiarowego modelu geometrycznego protezy w komputerze testuje się go pod względem biofizyki przepływu. Stosowane do tego celu oprogramowanie pozwala śledzić tory poruszania się cząstek podczas symulacji przepływu cieczy o zadanych wartościach gęstości i lepkości oraz uzyskać rozkład ciśnień i prędkości w dowolnym przekroju modelu geometrycznego. Umożliwia to otrzymanie pierwszych wyników testów już



Ryc. 3. Jedno ramię narzędziowe i jedno ramię z obrazowodem i kamerą endoskopową – RobIn Heart 2

w fazie projektu prototypu. Następnie model fizyczny poddawany jest testom na stanowisku symulacji układu krążenia. Za pomocą testerów wytrzymałościowych w przyspieszonym tempie bada się trwałość i długoterminowe mechaniczne własności zastawek i komór.

W Instytucie Protez Serca FRK w Zabrze powstał program symulacji procedur chirurgicznych w zakresie szeroko rozumianej chirurgii serca i naczyń. Zastosowanie oryginalnej koncepcji użycia równoległe wszystkich metod badawczych *in vitro* jest warunkiem uzyskania dużej dokładności otrzymanych wyników w odniesieniu do układów rzeczywistych. Na podstawie danych diagnostycznych, anatomicznych pacjenta wykonywane są trójwymiarowe obrazy wybranych obiektów oraz dokonywana jest symulacja komputerowa przepływu dla danego wariantu przeprowadzenia zabiegu. Te same dane są również podstawą do tworzenia modeli fizycznych, testowanych na odpowiednich stanowiskach badawczych (wizualizacja laserowa przepływu, anemometr laserowy i inne). Trzecią metodą analizy problemu jest zastosowanie modeli matematycznych układu naczyniowego.

Wykorzystując metody symulacji komputerowej oraz symulacji fizycznej i matematycznej odpowiednich modeli,

przeprowadzono wiele badań. Obecnie trwają próby optymalizacji operacji Menicantiego wraz z zespołem Śląskiego Centrum Chorób Serca. Prowadziliśmy prace nad optymalizacją łączenia naczyń i protez naczyniowych do modyfikacji operacji typu Blalocka-Taussinga. Pierwsi zaproponowaliśmy i modelowaliśmy zastosowanie małych pomp krwi (pomp osiowych) do wspomagania przepływu w naczyniach jako elementu operacji paliatywnych. Ocenialiśmy efektywność pomostów wieńcowych (*by-pass*) sekwencyjnych w chirurgii wieńcowej. Badaliśmy zastosowanie różnych typów zastawek serca w pompach krwi i w sercu człowieka. Modelowaliśmy wady zastawek, ocenialiśmy, jak biodegradacja zastawek wpływa na ich własności hemodynamiczne. W każdym wypadku wykonywaliśmy modele komputerowe i transparentne (do wizualizacji laserowej przepływu) oraz fizyczne, pracujące w warunkach symulacji układu sercowo-naczyniowego. Traktując operację chirurgiczną jako modyfikację układu krążenia w celu usunięcia przyczyn zagrożenia życia pacjenta, traktując układ naczyniowy jak układ hydrauliczny, odpowiadamy na proste pytania: jaki będzie przepływ objętościowy i ciśnienie w wybranych gałęziach układu naczyniowego, jeśli przeprowadzimy operację w dany sposób. Analizując lokalny obraz przepływu (turbulencje, naprężenia ścinające itp.), próbujemy prognozować, kiedy przeprowadzić zabieg, jaka będzie jego efektywność i jakie zagrożenia mogą się pojawić w przyszłości.

Wydaje się, że oprócz wspomagania narządów coraz większe znaczenie w medycynie będą miały urządzenia techniczne zwiększające bezpośrednio możliwości manualne, intelektualne i sensoryczne lekarza. Wynikiem naszego coraz głębszego zainteresowania procesem operacji chirurgicznej był w końcu projekt nowoczesnego narzędzia chirurga – robota *Rob/n Heart*. Jest on europejskim konkurentem amerykańskiego robota *da Vinci*. Założyliśmy, że będzie miał strukturę segmentową, umożliwiającą zestawienie sprzętu do różnych typów operacji. Samodzielnym elementem jest zrobotyzowana kamera endowizyjna *Rob/n Heart Vision* o szerokim zasięgu stosowania (z opcją sterowania głosem). Projekt zakładał stworzenie interdyscyplinarnego zespołu z kilku centrów akademickich, składającego się ze studentów i doświadczonych konstruktorów. Zespół od początku ściśle współpracuje z przyszłymi użytkownikami – lekarzami. W projekcie wykonaliśmy 4 ramiona różniące się znacznie poprzez przyjęte założenia techniczne i sposób ich realizacji: 2 sztywne ramiona na niezależnych podstawach *Rob/n Heart 0*, *Rob/n Heart 1* oraz 2 ramiona narzędziowe *Rob/n Heart 2*, mocowane bezpośrednio do stołu operacyjnego (ryc. 3.). Po zakończeniu pełnych badań porównawczych i funkcjonalnych modeli *Rob/n Heart*

planowane jest przeprowadzenie badań na zwierzętach. Mamy już zgodę Komisji Etycznej. Chcemy m.in. wykonać próbę zrobotyzowanej, miniinwazyjnej operacji wszczepienia komór wspomaganie serca (POLVAD) i zastawek serca.

Im dalej dłonie chirurga są od przedmiotu operacji, tym większego znaczenia nabiera zrozumienie zjawisk oddziaływania narzędzia z tkankami. Robot jest pierwszym narzędziem nadzorowanym komputerowo, można więc zaimplementować weń aktywnie działające programy doradcze i kontrolne, oparte na wynikach symulacji przed operacją. Symulacje i modelowanie tkanek oraz elementów operacji stanowią podstawę określenia założeń do konstrukcji i sterowania robotem, planowania operacji robotem oraz standaryzacji testów robota (układ elektromechaniczny symuluje zachowanie tkanki). Przeprowadzono analizę dynamometryczną czynności charakterystycznych dla operacji kardiologicznych oraz próby modelowania zachowania tkanek pod wpływem narzędzi. W celu standaryzacji testów robota prowadzone są prace nad zastąpieniem operowania na tkankach naturalnych poprzez operowanie na substytutach, czyli modelach tkanek. Dzięki temu możliwa jest obiektywizacja badań, standaryzacja testów porównawczych robotów i optymalizacja sposobu sterowania oraz konstrukcji robota w quasi-naturalnych warunkach.

Opracowano również założenia dla procesu planowania operacji robotem i przeprowadzono odpowiednie badania. Planowanie obejmuje m.in. takie elementy, jak lokalizacja otworów w powłokach ciała pacjenta (portów), dostępna dla narzędzia przestrzeń operacji, choreografia robota i wybór stosowanych narzędzi. Przygotowywano inteligentną bazę danych, program doradczy (obsługiwany głosowo), który na żądanie chirurga wyświetla na ekranie (wraz z obrazem aktualnym z pola operacyjnego) obrazy diagnostyczne pacjenta i wyniki planowania i symulacji operacji.

Prowadzimy pionierskie prace projektowe nad zastosowaniem robota *Rob/n Heart* do implantacji i serwisowania sztucznych narządów (system *AORobAS – Artificial Organs Robotically Assited Surgery*). Wymagać to będzie nie tylko modyfikacji robota, ale też nowego typu konstrukcji sztucznych organów.

Modelowanie jako metoda poznawcza odgrywa szczególnie ważną rolę w naukach medycznych, gdzie eksperyment fizyczny jest trudny do przeprowadzenia z powodu ingerencji w obiekt żywy i z powodów etycznych. Na pograniczu techniki i biologii jesteśmy dziś świadkami najbardziej spektakularnych osiągnięć. Specjaliści z natury odległych, przez wieki rozwijających się niezależnie dziedzin nauki czy rzemiosła (i w końcu ekonomii) spotykają się coraz częściej, decydując o życiu człowieka.